

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-197465

(43)Date of publication of application : 06.08.1996

(51)Int.Cl.

B25J 9/10

B25J 9/22

B25J 19/06

G05D 3/12

(21)Application number : 07-011589

(71)Applicant : HITACHI CONSTR MACH CO LTD

(22)Date of filing : 27.01.1995

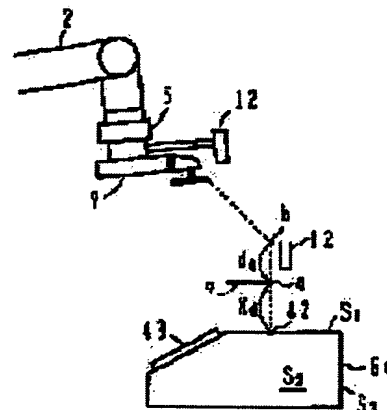
(72)Inventor : FURUNO YOSHINORI  
KURENUMA TOORU

## (54) CONTACT DETECTING DEVICE FOR FORCE CONTROL ROBOT

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To carry out the detection of contact with a workpiece in a short time using a contactless distance sensor and reduce the fear of a terminal effector colliding with a work object in a contact detecting device for a force control robot.

**CONSTITUTION:** A teaching point memory 24 is stored with the target value of a distance measuring position (a) including an attitude and the target value of an attitude change start position (b) placed on this side of the position (a) of measuring the distance to a workpiece by a contactless distance sensor 12, and the target value of the attitude in the position (b) is set to the same value as the target value of the attitude in the position (a). A teaching program memory 26 is stored with the target value of force at the contact time, the target value of speed at the time of passing the position (b), and positioning monitoring width for performing positioning at the time of passing the position (a) in a rough mode. The speed target value to the position (a) is set to such value as to be passable at the speed to which the contactless distance sensor 12 can respond.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-197465

(43)公開日 平成8年(1996)8月6日

(51)Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
B 2 5 J	9/10	A		
	9/22	A		
	19/06			
G 0 5 D	3/12	3 0 6 P		

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願平7-11589

(22)出願日 平成7年(1995)1月27日

(71)出願人 000005522

日立建機株式会社

東京都千代田区大手町2丁目6番2号

(72)発明者 古野 義紀

茨城県土浦市神立町650番地 日立建機株

式会社土浦工場内

(72)発明者 樽沼 透

茨城県土浦市神立町650番地 日立建機株

式会社土浦工場内

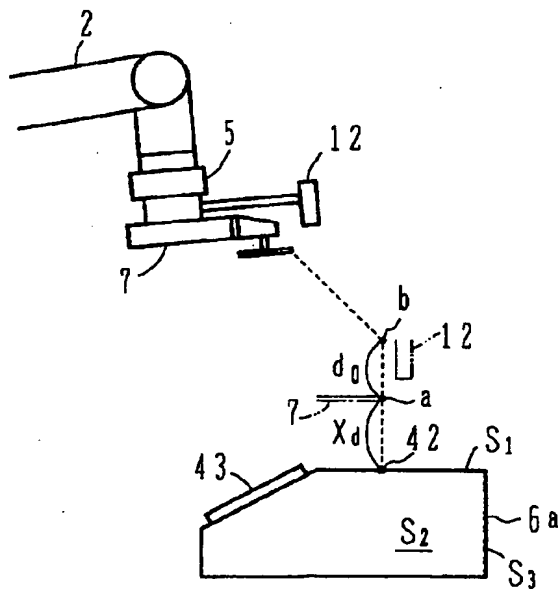
(74)代理人 弁理士 春日 譲

(54)【発明の名称】 力制御ロボットの接触検出装置

(57)【要約】

【目的】力制御ロボットの接触検出装置において、非接触式距離センサを用いてワークとの接触を短時間で検出可能としかつ手先効果器が作業対象物に衝突する恐れを少なくする。

【構成】教示点メモリ24には、非接触式距離センサ12でワークまでの距離を測定する姿勢を含めた距離測定位置aの目標値とその位置の手前にある姿勢変換開始位置bの目標値が格納され、位置bの姿勢の目標値は位置aの姿勢の目標値と同じに設定されている。教示プログラムメモリ26には接触時における力目標値、位置bを通過するときの速度目標値及び位置aを通過する時の位置決めをラフモードで行うための位置決め監視幅が格納してある。位置aに対する速度目標値は非接触距離センサ12の応答可能な速度で通過できる値を設定する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 手先効果器に加わる力を検出する力検出手段と、前記手先効果器の位置を検出する位置検出手段と、前記力検出手段で得られる力データ及び前記位置検出手段で得られる位置データと前記手先効果器の力目標値及び位置目標値を用いて制御演算式に基づき制御指令データを作成し、前記手先効果器の位置と力を制御する制御手段とを備える力制御ロボットにおいて、前記手先効果器を移動させ対象物に接触した時、前記力検出手段で検出した前記手先効果器の押し付け方向の力データで前記対象物との接触を判断する力制御ロボットの接触検出装置において、前記手先効果器の近くに設けられ、前記手先効果器と前記対象物の間の距離を測定する非接触式距離センサと、前記手先効果器が前記対象物に接触すべく対象物に向かって移動するとき、前記距離センサにより前記対象物までの距離を測定させる第 1 の位置とそれより手前の第 2 の位置について、同じ姿勢の目標値を有する位置と姿勢の目標値とを設定した位置目標値設定手段と、前記第 1 の位置を通過する時に前記距離センサの応答可能な速度で通過できるように前記手先効果器の移動速度を設定する第 1 の速度設定手段と、前記手先効果器が前記第 1 の位置に到達したかどうかを検出し、到達した時点で前記距離センサによって前記対象物までの距離を測定して当該距離区間における速度パターンを生成し、この速度パターンに従って前記手先効果器を移動させる第 2 の速度設定手段とを備えることを特徴とする力制御ロボットの接触検出装置。

【請求項 2】 請求項 1 記載の力制御ロボットの接触検出装置において、前記第 2 の速度設定手段は、前記手先効果器が前記第 1 の位置に到達した時点で、前記距離センサによる測定で得られた距離に基づいて、当該距離区間における初期の高速移動区間と対象物直前の低速移動区間を含む速度パターンを生成する手段を含み、前記高速移動区間における初期速度を前記距離センサの応答可能な速度とすることを特徴とする力制御ロボットの接触検出装置。

【請求項 3】 請求項 1 記載の力制御ロボットの接触検出装置において、前記第 1 の位置における位置と姿勢の目標値を教示した時に前記第 2 の位置における位置と姿勢の目標値を自動的に作成する教示点作成手段を更に備えることを特徴とする力制御ロボットの接触検出装置。

【請求項 4】 請求項 1 記載の力制御ロボットの接触検出装置において、前記第 2 の位置における位置と姿勢の目標値を教示した時に前記第 1 の位置における位置と姿勢の目標値を自動的に作成する教示点作成手段を更に備えることを特徴とする力制御ロボットの接触検出装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は力制御ロボットの接触検

出装置に係わり、特に、研削ロボットのごとき多自由度力制御ロボットにおいてアーム先部のワークとの接触を検出する接触検出装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 一般的な多自由度の力制御ロボットのアーム先部（手先効果器）が作業対象物（ワーク）に接近する場合、作業対象物との接触を検出するとともに、接触した時に作業対象物に衝撃が加わらないようにするため、作業対象物との間の距離関係を考慮した速度制御をする必要がある。この制御は、従来、例えば、ロボットのアーム先部に非接触式距離センサを設け、この距離センサによってアーム先部と作業対象物の距離を検出し、アーム先部の作業対象物までの距離が所定の位置に到達すると、アーム先部の速度を制御する制御方式が知られている。例えば特開昭 60-108285 号公報にその一例が記載されており、この制御方式では、非接触式距離センサによってアーム先部と作業対象物の距離が予め設定された一定値よりも小さくなったことが検出された場合に、制御速度の切り換えまたは変更の処理を行うようにしている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 研削ロボットのごとき多自由度力制御ロボットにおいてアーム先部のワークとの接触を検出する一例として、ティーチングプレイバック方式で目標経路に従って研削工具を移動させワークを研削するときのワークの設置位置の検出がある。これは、ティーチングプレイバック方式でワークを研削するとき、教示データを作成したときの基準ワークと同じ形状に実際のワークを研削するためであり、研削工具の移動速度を力目標値、位置目標値、速度ゲインに基づき算出し、その移動速度で研削工具をワークに向けて移動させるとともに、研削工具がワークに接触した時、力検出手段で検出した研削工具の押し付け方向の力と力目標値の比較で接触を検出し、位置検出手段で検出した位置データをワークの設置位置として取り込む。

【0004】 このようなワークの接触検出では、ワークとの接触を短時間で検出し作業能率を上げるために研削工具をできるだけ高速で移動させることが望まれる。しかし、非接触式距離センサを用いて作業対象物との距離を検出しながら当該距離関係を考慮した速度制御をする上記従来技術では、距離センサの応答可能な速度に限界があるため、距離センサの応答可能な速度以上の高速で移動させると測定ミスが発生し、切削工具が高速でワークに衝突し、研削工具及びワークが破損するという問題があった。

【0005】 本発明の目的は、非接触式距離センサを用いてワークとの接触を短時間で検出可能としかつ手先効果器が作業対象物に衝突する恐れのない力制御ロボットの接触検出装置を提供することである。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は次の構成を採用する。すなわち、手先効果器に加わる力を検出する力検出手段と、前記手先効果器の位置を検出する位置検出手段と、前記力検出手段で得られる力データ及び前記位置検出手段で得られる位置データと前記手先効果器の力目標値及び位置目標値を用いて制御演算式に基づき制御指令データを作成し、前記手先効果器の位置と力を制御する制御手段とを備える力制御ロボットにおいて、前記手先効果器を移動させ対象物に接触した時、前記力検出手段で検出した前記手先効果器の押し付け方向の力データで前記対象物との接触を判断する力制御ロボットの接触検出装置において、前記手先効果器の近くに設けられ、前記手先効果器と前記対象物の間の距離を測定する非接触式距離センサと、前記手先効果器が前記対象物に接触すべく対象物に向かって移動するとき、前記距離センサにより前記対象物までの距離を測定させる第1の位置とそれより手前の第2の位置について、同じ姿勢の目標値を有する位置と姿勢の目標値とを設定した位置目標値設定手段と、前記第1の位置を通過する時に前記距離センサの応答可能な速度で通過できるように前記手先効果器の移動速度を設定する第1の速度設定手段と、前記手先効果器が前記第1の位置に到達したかどうかを検出し、到達した時点で前記距離センサによって前記対象物までの距離を測定して当該距離区間における速度パターンを生成し、この速度パターンに従って前記手先効果器を移動させる第2の速度設定手段とを備える構成とする。

【0007】上記力制御ロボットの接触検出装置において、好ましくは、前記第2の速度設定手段は、前記手先効果器が前記第1の位置に到達した時点で、前記距離センサによる測定で得られた距離に基づいて、当該距離区間における初期の高速移動区間と対象物直前の低速移動区間を含む速度パターンを生成する手段を含み、前記高速移動区間における初期速度を前記距離センサの応答可能な速度とする。

【0008】また、上記力制御ロボットの接触検出装置は、好ましくは、前記第1の位置における位置と姿勢の目標値を教示した時に前記第2の位置における位置と姿勢の目標値を自動的に作成する教示点作成手段を更に備える構成とする。また、上記接触検出装置は、前記第2の位置における位置と姿勢の目標値を教示した時に前記第1の位置における位置と姿勢の目標値を自動的に作成する教示点作成手段を更に備える構成であってもよい。

【0009】

【作用】以上のように構成した本発明では、第1の速度設定手段で上記のように手先効果器の移動速度を設定しておくことにより、手先効果器は第1の位置で一旦停止することなく非接触式距離センサの応答可能な速度で第1の位置を通過するとともに、手先効果器が第1の位置に到達すると第2の速度設定手段は非接触式距離センサ

によって対象物までの距離を測定し、当該距離区間における速度パターンを生成し、手先効果器はこの速度パターンにしたがって移動する。ここで、速度パターンには非接触式距離センサの応答可能な速度以上の高速移動区間を含ませることができ、これにより当該距離区間を非接触式距離センサの応答可能な速度以上の高速で手先効果器を移動させることができ、短時間で接触を検出することができる。

【0010】また、位置目標値設定手段に位置目標値の一部として上記のような第1の位置とともに第2の位置を設定しておくことにより、手先効果器を対象物に向かって移動させ接触を検出するとき、手先効果器は第1の位置より手前の第2の位置で、第1の位置と同じ姿勢の目標値により事前に姿勢が制御され、第1の位置（距離測定点）において非接触式距離センサの距離測定方向と手先効果器の移動方向とが一致するようになる。

【0011】ここで、非接触式距離センサによって対象物までの距離を測定するとき、任意の方向から非接触式距離センサを距離測定点にアプローチさせると、ロボットのアーム先部の姿勢が測定に必要な姿勢と異なる場合があり、非接触式距離センサの距離測定方向がその後の移動方向と一致せず、非接触式距離センサの距離測定方向が定まらない場合が起きる。その結果、測定距離に誤差が多く含まれ、実際に移動する距離が測定距離より短い場合に、手先効果器がワークと衝突することがある。これを避けるためには、距離測定点において手先加工器を一旦停止させ姿勢を変えればよい。しかし、このようにすると接触を短時間で検出できなくなる。

【0012】本発明では、上記のように非接触式距離センサの距離測定方向と手先効果器の移動方向とを一致させており、これにより第1の位置において手先効果器を測定に必要な姿勢に到達させることができるので、第1の位置を非接触式距離センサの応答可能な速度で通過させながら手先効果器の移動方向の正確な距離測定ができ、安全に手先効果器を対象物に接触させることができる。

【0013】第2の速度設定手段において、初期の高速移動区間と対象物直前の低速移動区間を含む速度パターンを生成し、高速移動区間における初期速度を距離センサの応答可能な速度とすることにより、第1の位置を非接触式距離センサの応答可能な速度で通過後、円滑に速度パターンの速度制御に移行し、かつ対象物に接触時の移動速度を遅くして衝撃力を小さくすることができる。

【0014】第1の位置と第2の位置のどちらか一方を教示した後に他方を自動的に作成することにより、教示作業が簡単になる。

【0015】

【実施例】以下に、本発明の実施例を添付図面に基づいて説明する。本実施例は、本発明を研削ロボットの接触式位置検出装置に適用した例である。

【0016】図1は、力制御ロボットの一例である研削ロボットのシステム構成を示す。ここで力制御ロボットは、制御部が位置と力の制御を行い、この制御に従って力を伴う作業をワークに対して行うロボットを意味する。また、この研削ロボットは、ティーチングプレイバック方式で構成される。

【0017】図1で、1はロボット本体であり、複数の関節部を含むアーム2を備え、基台3の上に取り付けられる。各関節部にはモータ等の駆動装置が設けられ、各関節部は決められた範囲内で稼働する機能を有する。アーム2の各関節部の稼働機能により、アームを含むロボット本体1の全体の姿勢は作業上必要な姿勢に変化し、アーム2の先部は作業上必要とされる位置に移動する。アーム2のリスト（手首）部4には6軸の力センサ5が取り付けられる。力センサ5の先側部分には、ワーク6に対し研削作業を行う研削工具7が取り付けられる。研削工具7は、例えばグラインダである。

【0018】8はコントローラであり、コントローラ8はコンピュータで構成される。コントローラ8は、位置と力の制御を実行するため予め定められた演算式等を計算する制御プログラムを有し、この制御プログラムは、与えられた条件に関するパラメータ、作業開始時の教示内容を用いて、ロボット本体1の動作を制御する。ロボット本体1の研削動作を制御するためのプログラムは、コントローラ8の内部に設けられた専用メモリに格納されている。

【0019】コントローラ8は、信号ライン9で、ロボット本体1に対して研削作業の動作を制御するための指令を与える。また、コントローラ8は、力センサ5から研削工具7に加わる力およびモーメントに関する検出信号（力信号）10を入力する。11は、研削ロボットのコントローラ8に対し、実行すべき研削作業に関する諸条件を付与し、そのメモリにセットするための教示用操作器である。操作器11は、テンキーおよび各種の指令を与えるための操作スイッチを有する。この操作器11によって、例えば、研削作業前における基準ワークを用いた研削動作の教示、研削作業条件の設定等の教示が行われる。本実施例では、操作器11を介して、後述するような研削対象であるワークの実際の設置位置を検出するための教示点の設定が行われる。なお、操作器11は、必要に応じて、研削作業を実行させるオペレータが所持する携帯用のものとして構成できるし、また、固定設置用のものとして構成することもできる。

【0020】また12は、非接触式距離センサであり、力センサ5の先側部分に取り付けられる。この非接触式距離センサ12には、安価な光学式距離センサが使用される。この光学式距離センサとしては、反射光を光スポットとして肉眼で直接確認できる形の例えば可視光レーザを使用したものが適当である。距離センサ12の検出部は、研削時に発生する火花の影響を受けにくい、研削

工具7の研削位置から離れた箇所に配置され、研削工具7の刃先を含む領域に臨んでいる。距離センサ12によって検出された、研削工具7からワーク6までの距離に関するデータは、信号ライン13を介してコントローラ8に送給される。距離センサ12の距離検出の原理については、前述の光学式のもの他に、例えば、磁気インピーダンスの変化を利用するもの、発振周波数の変化を利用するもの、超音波式のものなどが利用され、研削時に発生する火花の影響を受けない離れた位置から距離を測定することができる各種のものをを用いる。

【0021】次に、図2を参照してコントローラ8の構成について説明する。研削作業を行うように設定されたロボット本体1に対して、当該研削作業の内容を決定する制御内容は、位置・力制御演算部20の内部メモリに格納されたプログラムによってソフト的に実現される。教示点メモリ24には、研削工具7が移動する空中または、ワーク上の教示点が格納してあり、この教示点にはワークの被加工部を研削するための位置データに加え、非接触式距離センサ12でワークまでの距離を測定する姿勢を含めた距離測定位置（図4に示す教示点a）の目標値とその位置の手前にある姿勢変換開始位置（同教示点b）の目標値が含まれる。ここで、姿勢変換開始位置の姿勢の目標値は距離測定位置の姿勢の目標値と同じに設定されている。教示点生成部25には、教示点メモリ24に格納された教示点を基に、新しい教示点を自動的に生成するプログラムが格納してある。このプログラムによって、後述するワークの設置位置を検出するための移動経路を生成するための距離測定位置の目標値と姿勢変換開始位置の目標値のどちらか一方を自動的に作成し、教示点メモリ24にその教示点を格納する処理を行う。

【0022】教示プログラムメモリ26には、位置検出作業に必要な動作プログラムと、操作器11を用いて設定した接触時における力目標値を含む力目標値、非接触式距離センサ12を測定開始位置において応答可能な速度で移動させるための速度目標値を含むが速度目標値及び上記姿勢変換開始位置を通過する時の位置決めをラフモードで行うための位置決め監視幅が格納してある。

【0023】サーボアンプ27では、位置・力制御演算部20から出力される速度データが、ロボット本体1の各駆動モータ22の駆動指令値（角速度である）に変換される。得られた駆動指令値は、ロボット本体1の各駆動モータ22に供給される。BUS23は、コントローラ8の各部と非接触式距離センサ12や、力センサ5や、操作器11や、ロボット本体1のモータ22を駆動するサーボアンプ27を接続している。制御信号やデータの通信は、このBUSを介して行われる。

【0024】ロボット本体1の内部には、アーム2の各関節部を動作させるための駆動モータ22が複数内蔵されており、これらの駆動モータにはそれぞれの駆動量を

10

20

30

40

50

計測するための角度計21が取り付けられる。角度計21によって、各関節部の軸角度データが測定される。

【0025】コントローラ8の処理内容を機能ブロック図で図3に示す。位置・力制御演算部20は仮想コンプライアンス制御を実行する制御系の構成を有する。以降<>はベクトル量を示す。

【0026】力目標値設定部48では教示プログラムメモリ26に格納してある力目標値が力目標値<f o>として設定され、位置目標値設定部49には教示点メモリ24に格納してある教示点が及びそれらを間を補間した値が位置目標値<x o>として設定されている。

【0027】ロボット本体1のアームリスト部に取り付けられた力センサ5で検出された力信号は力演算部50でセンサ座標系から基準座標系（絶対座標系）に変換され、力検出値<f>とされる。また、駆動モータ22に取り付けられた角度計21で検出された各軸に関する角度データは位置演算部51で絶対座標系における位置データ<x>に変換される。

【0028】力演算部50で得られた力検出値<f>は減算部52において力目標値設定部48に設定された力目標値<f o>との偏差< $\Delta f$ >がとられ、位置・力制御演算部53に送られる。位置演算部51で得られた位置データ<x>は減算部54において位置目標値設定部49に設定された位置目標値<x o>との偏差< $\Delta x$ >がとられ、位置・力制御演算部53に送られる。

【0029】位置・力制御演算部53は、ばね定数演算部55と、減算部56と、特性補償演算部57とを有し、力偏差< $\Delta f$ >は減算部56に入力され、位置偏差< $\Delta x$ >はばね定数演算部55に入力される。ばね定数演算部55には仮想ばね定数行列<K>が設定されており、位置偏差< $\Delta x$ >に仮想ばね定数行列<K>を乗算することにより位置偏差< $\Delta x$ >を力データ<K>< $\Delta x$ >に変換し、減算部56に出力する。減算部56では力偏差< $\Delta f$ >と<K>< $\Delta x$ >との差を求め、演算結果は特性補償演算部57に与えられる。特性補償演算部57にはコントローラゲイン（粘性係数）<K c>が設定されており、減算部56の演算結果はここで制御上の特性補償を受け、速度指令値<v>が算出される。

【0030】位置決め監視部37は教示プログラムメモリ26に格納してある位置決め監視幅< $\Delta x w$ >に応じた位置決めモードを設定する部分であり、位置偏差< $\Delta x$ >が< $\Delta x w$ >より小さくなると< $\Delta x$ >=0とみなし、位置目標値49の位置目標値<x o>を更新させる。本発明では、上記姿勢変換開始位置（図4の点b）の目標値に対する位置決め監視幅< $\Delta x w$ >はラフに（大きく）設定され、位置目標値設定部49に姿勢変換開始位置の目標値が設定されたとき、研削工具7はその位置をラフモードで通過する。また、上記姿勢変換開始位置に至るまでの位置決め監視幅及び上記距離測定位置（図4の点a）の位置決め監視幅はナシに設定され、位

置目標値設定部49では各教示点間の位置目標値を示メモリ26から与えられる速度目標値の大きさに応じて直線補間または円弧補間することにより演算し、一定周期毎に位置目標値<x o>を更新する。本発明では、上記姿勢変換開始位置に至るまでの速度目標値は高速に設定し、補間で得られた位置目標値間の距離を長くし、距離測定位置を通過するときの速度目標値は非接触距離センサ12の応答可能な速度に設定し、距離測定位置に近付いたときの補間で得られた位置目標値間の距離を上記姿勢変換開始位置に至るまでのものより短く設定する。

【0031】位置検出部33は、位置目標値設定部49で位置目標値<x o>の1つとして設定された距離測定位置の目標値と位置データ<x>とが一致したときに、速度パターン作成部32と速度指令値切換スイッチ35に信号を送り、速度パターン作成部32は、その時の非接触式距離センサ12が測定したワーク6までの距離データXdを基に、非接触式距離センサの距離測定方向の速度パターンの作成を行う。また、位置検出部33は切換スイッチ35を切換え、速度パターン作成部32の速度指令値のみをサーボアンプ27に送る。

【0032】速度パターン作成部32の速度指令値がサーボアンプ27に送られてから、その速度パターンの実行が終わるまでは、切換スイッチ35は切換えられた位置に保たれ、速度パターン作成部32で作成された速度パターンのみでサーボアンプ27への速度指令値<v>は決定され、速度パターンの実行が終了すると切換スイッチ35は元の位置に戻る。

【0033】接触判定部34は、力センサ5で検出される力データ<f>と予め設定しておいた接触を判定する力の値<f o>とを比較し、両者が等しくなると研削工具7がワーク6に接触したと判断し、位置取り込み部36に信号を送ってその時のロボットの先端位置を表す位置データ<x>の値を取り込み、教示点メモリ24に格納する。

【0034】速度パターンの実行は、接触判定部34で接触が検出されると終了する。

【0035】以上の構成において、教示点メモリ24は、先端効果器（研削工具7）が対象物（ワーク6）に接触すべく対象物に向かって移動するとき、非接触式距離センサ12により対象物までの距離を測定させる第1の位置（教示点a）とそれより手前の第2の位置（教示点b）について、同じ姿勢の目標値を有する位置と姿勢の目標値とを設定した位置目標値設定手段を構成し、教示プログラムメモリ26及び位置目標値設定部49は、前記第1の位置を通過する時に距離センサ12の応答可能な速度で通過できるように先端効果器の移動速度を設定する第1の速度設定手段を構成し、速度パターン作成部32、位置検出部33、切換スイッチ35は先端効果器が第1の位置に到達したかどうかを検出し、到達した時点で距離センサ12によって対象物までの距離を測定

して当該距離区間における速度パターンを生成し、この速度パターンに従って手先効果器を移動させる第2の速度設定手段を構成する。

【0036】また、教示点生成部25は、第1の位置における位置と姿勢の目標値を教示した時に第2の位置における位置と姿勢の目標値を自動的に作成する教示点作成手段、または第2の位置における位置と姿勢の目標値を教示した時に第1の位置における位置と姿勢の目標値を自動的に作成する教示点作成手段を構成する。

【0037】次に、上記構成を有する研削ロボットの基本的動作及び本実施例の接触検出の考え方を説明する。

【0038】図4は、研削対象である実際のワークを示すものである。ワーク6aは所定箇所被加工部43が形成されており、この被加工部43を研削工具7によって研削し、取り除く作業が行われる。またワーク6aには直交する3つの基準面S1、S2、S3が形成されている。

【0039】作業前の教示作業では、基準ワークの同一基準面S1、S2、S3の位置データに基づいて基準ワークの設置位置が定められ、当該設置位置に基づき被加工部を研削するための位置データが教示されている。しかし、実際のワーク6aと基準ワークの設置位置は完全に同じとは限らないので、実際のワークの設置位置を検出し、基準ワークの設置位置とのずれを求め、教示された位置データを修正する必要がある。

【0040】実際のワーク6aの設置位置の検出はワーク6aの基準面S1、S2、S3の位置を検出することで行う。基準面S1の位置を検出するには、まず研削工具7を基準面S1に向けて移動させて基準面S1に接触させ（図中、この時の接触点を42で示している）、その時の研削工具の押し付け方向における位置を検出する。基準面S2、S3についても同様に位置を検出できる。以下、説明の簡略化のため、ワーク6aの設置位置の検出として基準面S1の検出のみに言及する。

【0041】図4では、ワーク6aの設置位置を検出するために、研削工具7をワーク6aに向けて移動させる時の移動経路を示している。図中、点aは研削工具7の所定箇所、例えば先端からワーク6aの基準面S1までの距離を測定し、その距離情報に基づいて作成された速度パターンに従って研削工具7の移動を開始する点である。点bは、本発明に従って研削工具7がa点に達する前に、事前に研削工具7及び非接触式距離センサ12の姿勢の制御を開始する点である。

【0042】ワーク6aとの接触検出をできるだけ短時間で行うためには、点aにおいて研削工具7を移動させながらワーク6aまでの距離を検出することが望ましい。しかし、非接触式距離センサ12には応答速度に限界があり、あまり高速で移動すると測定ミスが発生する。そこで、本発明では研削工具7が点aを通過するときに距離センサ12の応答可能な速度で通過できるよう

に研削工具7を移動させる。

【0043】一方、任意の方向から研削工具7をワークに向かって移動させる場合、移動させながら点aでワークまでの距離を測定すると、非接触式距離センサ12の距離測定方向がその後の研削工具7の移動方向と一致せず、非接触式距離センサ12が測定に必要な姿勢にならず距離測定方向が定まらない場合が起きる。その結果、測定距離に誤差が多く含まれ、実際に移動する距離が測定距離よりも短い場合に研削工具7がワーク6aと衝突することがある。そこで、本発明では、研削工具7が点aに達する前に、事前に点bで研削工具7の姿勢を変え始め、点aに達したときには非接触式距離センサ12の距離測定方向がその後の研削工具7の移動方向と一致するようにする。ここで、点a間の距離d<sub>o</sub>は姿勢の変化のための余裕距離であり、その余裕距離d<sub>o</sub>は、ロボット本体の特性から決めることができるので、点aを教示した時に自動的に点bを作成することや、点bを先に教示し、点aを自動的に作成することもできる。また、点aと点bを個々に教示することもできるのは、勿論である。

【0044】点aにおいてワーク6aまでの距離を測定した後は、その距離情報に基づいて速度パターンを作成し、研削工具7はその速度パターンに従って最初は高速移動し、その後低速移動し、点42でワーク6aに接触する。このように高速移動と低速移動を含む速度パターンを作成し研削工具7を移動させることにより、安全にかつ短時間でワーク6aに接触させることが可能になる。

【0045】研削工具7が検出点42に接触することに基づいてワーク6aの実際の設置位置が検出された後、高速で研削工具7はワーク6aから離れ、予め設定された教示データに従って被加工部43を研削する作業が行われる。

【0046】上記の説明では、位置検出の対象を研削対象物である実際のワークとしたが、位置検出の対象はかかるワークに限定されず、他のものであってもかまわない。また前述のワークに接触するための移動は、研削対象物である実際のワークの正確な位置検出のために行われたが、研削作業を開始するための接近・接触度移動においても同様に利用することができる。

【0047】次に、教示点a、bを作成する動作と本実施例の動作の実際を図5～図7に示すフローチャートに基づいて説明する。

【0048】図5のフローチャートは、教示点aを自動的に作成する教示作業の詳細を示すものである。以下の説明では、非接触式距離センサ12として安価な光学式変位計を用いるものとする。

【0049】まず、予め教示点作成部25にロボット本体1のアーム先部の姿勢の変化ができる距離d<sub>o</sub>を格納した状態でこの教示作業を開始する。ステップS1で

は、操作器 11 を用いて、ワーク 6 a までの距離を測定する距離測定位置（点 a）まで非接触式距離センサ 12 を移動させ、その時のロボット本体 1 の姿勢を含めた距離測定位置を操作器 11 を使って教示点 a の位置と姿勢の目標値として教示点メモリ 24 に格納する（ステップ S2）。次に、教示点作成部 25 の中で、先に格納しておいた姿勢の変化が可能な距離 d o と教示点の位置と姿勢の目標値を用いて教示点 b の位置と姿勢の目標値を作成する（ステップ S3）。ここで、点 b の位置の目標値は点 a の位置の目標値に距離 d o を加算した値であり、点 b の姿勢の目標値は点 a の姿勢の目標値と同じにする。ステップ S4 において教示点 b の位置と姿勢の目標値を教示点メモリ 24 に格納することで教示作業を終了する。

【0050】次に、教示作業の他の例として、図 6 のフローチャートを用いて手動で行う教示作業を説明する。

【0051】まず、操作器 11 を操作し、ワーク上の位置を検出しようとする点（接触点 42 に相当する点）上のワークから離れた所望の位置まで非接触式距離センサ 12 を移動させ、この位置で操作器 11 を用いてロボット本体 1 のアーム先部の位置と姿勢を教示する（ステップ S11）。この時のロボット本体のアーム先部の姿勢は、距離を測定するとき及び接触する時の姿勢と同一のものとする。そして、同時に、この位置データと姿勢データを教示点 b の位置と姿勢の目標値として教示点メモリ 24 に格納する（ステップ S12）。次に、ワークまでの距離を測定したい位置まで移動し、その時の位置データと姿勢データを同様に操作器 11 を用いて教示点 a の位置と姿勢の目標値として教示点メモリ 24 に格納する（ステップ S13、ステップ S14）。ただし、この時の点 a b 間の距離は、ロボット本体 1 のアーム先部の姿勢が十分に变化できる距離 d o とする。

【0052】以上の教示手順の他に、教示点 b に非接触式距離センサ 12 を移動させ位置と姿勢を操作器 11 を用いて教示した後、ロボットの姿勢が変化でき得る距離 d o から教示点 a を自動的に作成することもできる。

【0053】次に、図 7 のフローチャートおよび図 8 の速度パターンを参照して、前述した教示データを用いたワークの位置検出に係る移動に関する制御動作を述べる。

【0054】教示プログラムメモリ 26 に格納されている位置検出プログラムを動作させると、教示点メモリ 24 からはまず位置の目標値として教示点 b が出力され、教示プログラムメモリ 26 からは教示点 b に至るまでの速度目標値として高速の目標値が出力され、位置目標値設定部 49 に教示点 b が位置目標値として設定されるとともに、位置目標値設定部 49 では教示点 b に至るまでの経路を速度目標値に応じて補間しその値を位置目標値として設定し、研削工具 7 は位置の検出を行う前の任意の位置と姿勢から教示点 b 付近を通過するよう制御され

る（ステップ S21）。

【0055】ここで、教示点で位置決めするときのモードとしては、位置決め監視幅が厳密な（小さい）ファインモードと位置決め監視幅が緩やかな（大きい）ラフモードとがあり、前者では教示点において一旦停止し、後者では、教示点付近を高速で移動できる。本発明では、先に説明したように教示プログラムメモリ 26 に格納してある位置決め監視幅  $\Delta x w$  は、教示点 b につきラフモードで動作するように緩やかに設定されており、研削工具 7 は点 b を停止することなくラフモードで通過する。また、先に説明したように教示点 b に至るまでは位置決め監視幅がナシに設定されかつ速度目標値は高速に設定され、研削工具 7 は教示点 b 付近までを高速で通過する。

【0056】教示点 b を通過後、教示点メモリ 24 からは位置の目標値として教示点 a が位置目標値設定部 49 に出力され、研削工具 7 は教示点 a に向かって移動する。

【0057】ここで、教示点 b には教示点 a と同じ姿勢の目標値が設定されているので、研削工具 7 が教示点 b 付近を通過し教示点 a に向かうにしたがって、研削工具 7 は任意の姿勢から教示点 a での目標姿勢、すなわち非接触式距離センサ 12 の距離測定方向がその後の研削工具 7 の移動方向と一致する姿勢（距離測定に必要な姿勢）へと変化してゆき、教示点 a を通過するときは非接触式距離センサ 12 の姿勢は距離測定に必要な姿勢となる。また、先に説明したように教示点 a に対しては位置決め監視幅がナシに設定され、教示プログラムメモリ 26 に格納してある速度目標値は研削工具 7 が距離センサ 12 の応答可能な速度で通過できるように設定されているので、研削工具 7 は教示点 a に距離センサ 12 の応答可能な速度で接近し、教示点 a を通過するようになる（ステップ S12）。

【0058】研削工具 7 が教示点 a に達すると、位置検出部 33 は速度パターン作成部 32 と速度指令値切換スイッチ 35 に信号を送り、速度パターン作成部 32 は非接触式距離センサ 12 にワーク 6 a までの距離  $X_d$  を測定させ（ステップ S13）、その時の測定距離  $X_d$  を基に図 8 に示すような初期速度を距離センサ 7 の応答可能な速度である  $V_s$ 、最高速度を  $V_H$  ( $> V_s$ )、接触速度を  $V_L$  ( $< V_s$ ) とした速度パターンを作成する（ステップ S14）。また、切換スイッチ 35 は速度パターン作成部 32 の速度指令値をサーボアンプ 27 に出力する位置に切換えられ、研削工具 7 は図 8 に示す速度パターンでワーク 6 a に向けて移動する（ステップ S15）。

【0059】ここで、速度パターン作成部 32 では、ワーク 6 a に接触するまでの全区間における移動に関して、高速移動距離  $X_H$  を算出した後、加速時間 ( $t_0 - t_1$ )、一定速度時間 ( $t_2 - t_1$ )、および減速時間



13

( $t_3 - t_2$ ) が算出され、次に、一定高速度開始時刻  $t_1$  と減速開始時刻  $t_2$  と一定低速度開始時間  $t_3$  が算出される。具体的には、非接触式距離センサ12で測定した距離  $X_d$  から非接触式距離センサ12の測定誤差やロボットの位置決め誤差を考慮した余裕距離  $X_L$  を差し引き、得られた量を高速移動距離  $X_H$  とする。距離センサの応答可能な速度を  $V_S$ 、加速度及び減速度をそれぞれ

$$X_H = 1/2 \cdot (V_S + V_H) \cdot t_1 + V_H \cdot (t_2 - t_1) + 1/2 \cdot (V_L + V_H) \cdot (t_3 - t_2) \quad (1)$$

$$\text{ここで、} t_1 = (V_H - V_S) / \alpha_A \quad (2)$$

$$t_3 = (V_H - V_L) / |\alpha_D| + t_2 \quad (3)$$

式(2)と式(3)を式(1)に代入し、一定速度終了

時間  $t_2$  を求めると、次式が得られる。

$$t_2 = \{X_H + (V_H - V_S)^2 / 2\alpha_A - (V_H^2 - V_L^2) / 2|\alpha_D|\} / V_H \quad (4)$$

以上のように速度パターンを作成することにより、距離センサ7の応答可能な速度である所期速度  $V_S$  から一定高速度区間開始時刻  $t_1$  まで加速度  $\alpha_A$  で加速し、減速区間開始時刻  $t_2$  まで一定速度  $V_H$  で、一定低速度区間開始時刻まで加速度  $\alpha_D$  で減速するというように研削工具7はワーク6aに向けて移動する。

【0062】一定低速度区間に入った後、接触判定部34は力センサ5で検出される力データ  $\langle f \rangle$  と予め設定しておいた接触を判定する力の値  $\langle f_0 \rangle$  とを比較して接触を検出し(ステップS26)、位置取り込み部36はその時の研削工具7の位置を表す位置データ  $\langle x \rangle$  を取り込んで教示点メモリ24に格納する(ステップS27)。その位置は、ロボット本体1およびアーム2の各関節部に設けた角度計21によって検出した値である。

【0063】位置取り込み部36の接触位置の取り込みが終わると位置検出作業は終了し、切換スイッチ35は元の位置に戻る。

【0064】以上のように構成した本実施例では、非接触式距離センサ12で測定するワークまでの距離情報が初期のロボット先部の位置や姿勢に関わらず正確に測定することができるので、安全に接触検出が行える。

【0065】また、距離測定位置においてロボット先部の速度が非接触式距離センサ12の応答可能な速度まで減速するが、ロボット先部が距離測定位置で停止することなくかつ上記速度パターンの高速移動区間で高速に移動するので短時間で位置検出作業を行え、研削作業時間の短縮につながる。

【0066】また、速度パターンの高速移動区間における初期速度  $V_S$  を距離センサ12の応答可能な速度としたので、距離測定位置を非接触式距離センサ12の応答可能な速度で通過後、円滑に速度パターンの速度制御に移行することができるとともに、対象物直前に低速移動区間を設定したので対象物に接触時の移動速度を遅くして衝撃力を小さくすることができる。

【0067】更に、距離測定位置と姿勢変換開始位置の

14

＊れ  $\alpha_A$ 、 $\alpha_D$  とすると、高速移動距離  $X_H$  は、次式で与えられる。ただし  $t_0 = 0$ 、 $t_1$  を加速時間、 $t_2 - t_1$  を一定速度時間、 $t_3 - t_2$  を減速時間とする。なお、図8において、B1は加速区間、B2は一定高速度区間、B3は減速区間、B4は一定低速度区間である。【0060】

どちらか一方を教示した後に他方を自動的に作成するので、複雑な教示作業が簡単に行え、教示時間の短縮につながる。

【0068】

20 【発明の効果】以上の説明で明かなように本発明によれば、ロボットのアーム先部に設けた非接触式距離センサで、任意の方向から第1の位置(距離測定点)にアプローチするときも、第1の位置(距離測定点)において距離測定方向にばらつきが生じないようにし、衝突が生じることなく安全に手先効果器を接触させることができる。

30 【0069】また、第1の位置(距離測定点)で手先効果器の移動速度の速度パターンが作成され、初期の高速移動区間を含めることができるので、手先効果器を非接触式距離センサの応答可能な速度まで減速しても短時間で対象物に接触させることができ、作業効率向上になる。

【0070】また、本発明によれば、速度パターンの高速移動区間における初期速度を距離センサの応答可能な速度としたので、第1の位置を非接触式距離センサの応答可能な速度で通過後、円滑に速度パターンの速度制御に移行することができ、また対象物直前に低速移動区間を設定したので対象物に接触時の移動速度を遅くして衝撃力を小さくすることができる。

40 【0071】更に、本発明によれば、第1の位置と第2の位置のどちらか一方を教示した後に他方を自動的に作成するので、複雑な教示作業が簡単に行え、教示時間の短縮につながる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例に係わる研削ロボットのシステムを示す構成図である。

【図2】コントローラ内部の構成を示す図である。

【図3】コントローラの制御機能の詳細を示す機能ブロック図である。

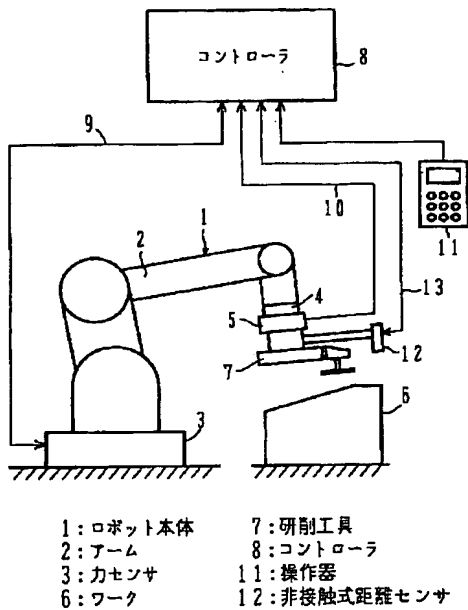
50 【図4】本発明の動作原理を説明するための図である。

【図5】 教示動作を示すフローチャートである。  
 【図6】 他の教示動作を示すフローチャートである。  
 【図7】 本実施例の動作を示すフローチャートである。  
 【図8】 速度バターンの一例を示す図である。  
 【符号の説明】

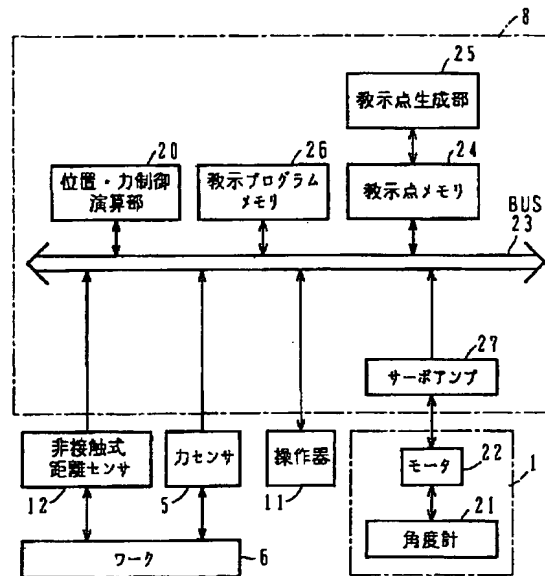
- 1 ロボット本体  
 2 アーム  
 5 カセンサ  
 6 ワーク  
 6 a 研削対象である実際のワーク  
 7 研削工具  
 8 コントローラ

- \* 11 操作器  
 12 非接触式距離センサ  
 24 教示点メモリ  
 25 教示点作成部  
 31 速度指令値演算部  
 32 速度パターン作成部  
 33 位置検出部  
 34 接触反底部  
 35 切換スイッチ  
 10 36 位置取り込み部  
 a 距離測定位置（第1の位置）  
 \* b 姿勢変換開始位置（第2の位置）

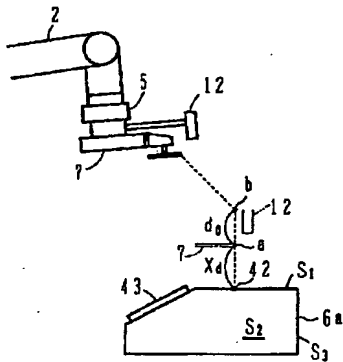
【図1】



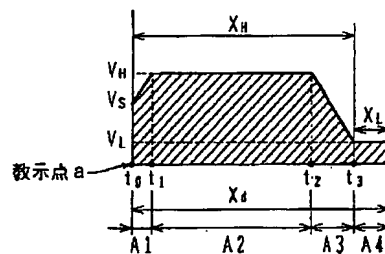
【図2】



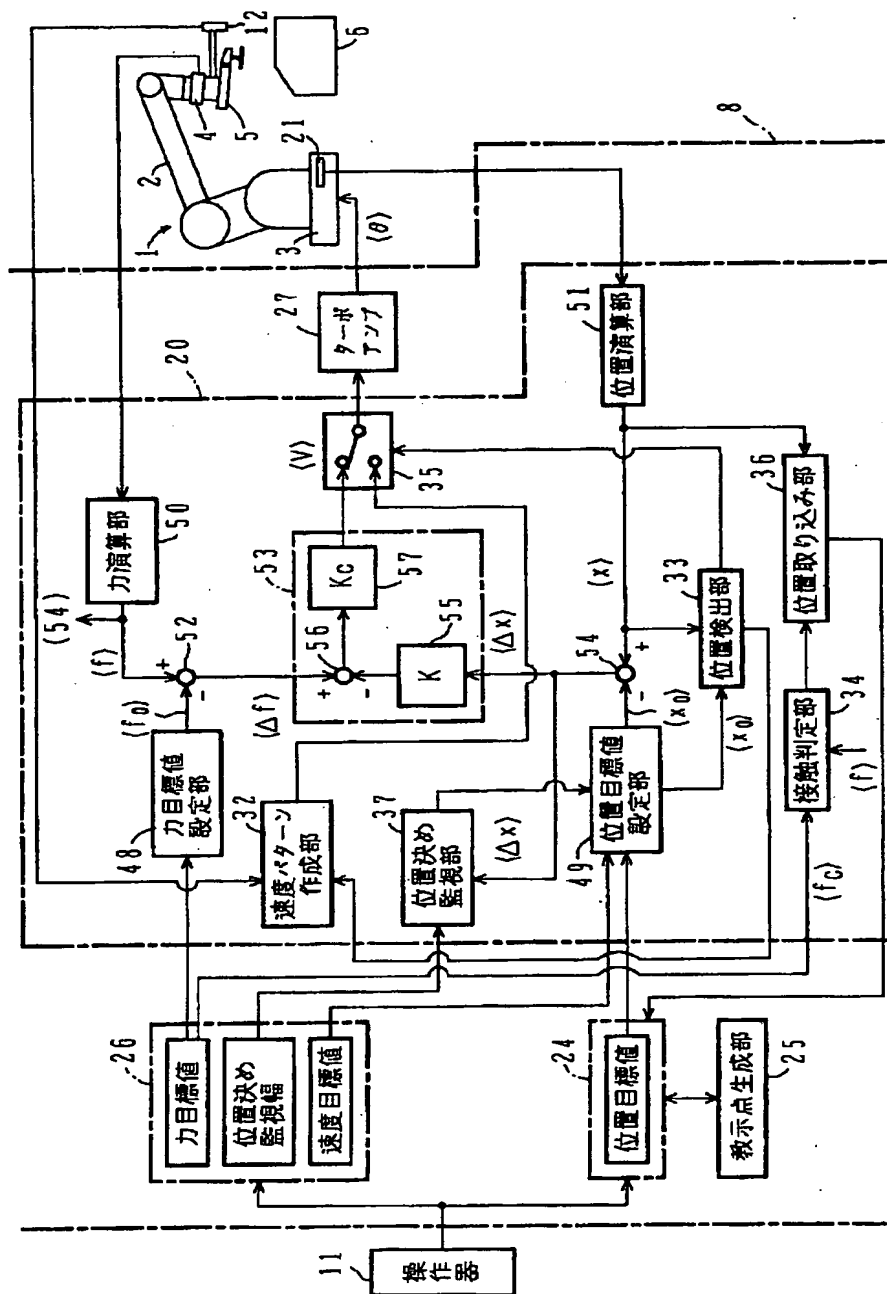
【図4】



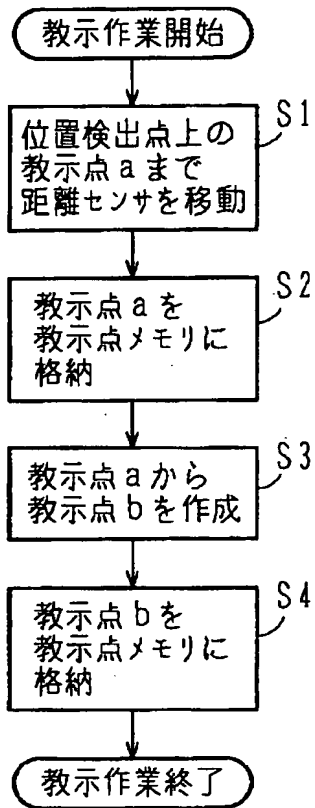
【図8】



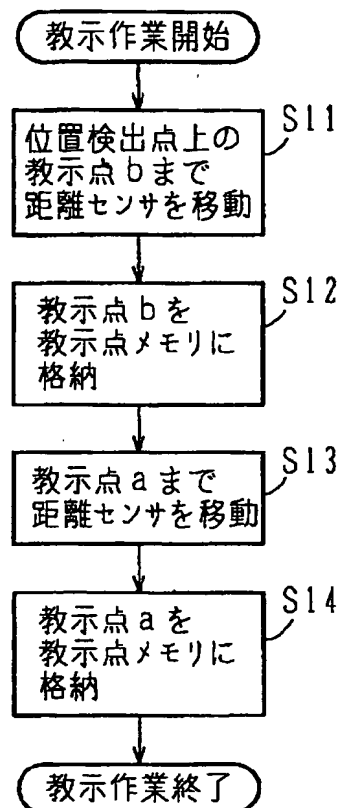
【図3】



【図5】



【図6】



【図7】

